



Makale / Research Paper

**Direnç ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilen
Alüminyum Levhaların Karşılaştırılması**

Duygu BODUR, Cevat OĞUZCAN, Sefa ERTÜRK, Yahya BOZKURT*

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
Göztepe Kampüsü, Kadıköy-İstanbul/TÜRKİYE
duygubodur92@gmail.com, cvtoguzcan@gmail.com, sefaerturk@outlook.com, ybozkurt@marmara.edu.tr*

Özet: Bu çalışmada, farklı serideki alüminyum alaşımı levhalar sabit takım dönme hızı ve takım bekleme süresi ile farklı takım dalma hızları ve takım dalma derinliklerinde sürtünme karıştırma nokta kaynak (SKNK) tekniği ile birleştirilmiştir. Daha sonra, aynı levhaların sabit elektrod kuvvetleri ve kaynak süreleri ile farklı kaynak akımlarında elektrik direnç nokta kaynak (EDNK) yöntemiyle birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. SKNK ve EDNK sonrası, çekme makaslama testleri yapılarak her iki alüminyum levhanın kırılma tipleri ve kopma kuvvetleri belirlenerek hangi kaynak yönteminde optimum çekme makaslama kuvveti elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, makroyapı incelemeleri ile kaynak bölgeleri belirlenmiş ve mikroyapı incelemeleri ile tane yapılarının oluşumunu etkileyen faktörler incelenmiştir. Tüm bu metalurjik ve mekanik testlerin sonuçları incelenerek her iki yöntem ile birleştirilen levhalar karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sürtünme karıştırma nokta kaynağı, Direnç nokta kaynağı, Alüminyum levha, Kaynak parametresi.

**Comparison of Aluminium Alloy Sheets Joined by Resistance Spot
and Friction Stir Spot Welding**

Abstract: In this study, different series aluminum alloy sheets were joined by friction stir spot welding (FSSW) method with fixed namely tool rotational speed and toll dwell time, different toll plunge speeds and tool plunge depths. Then, same sheets were joined by electrical resistance spot welding (RSW) method with fixed electrode force, welding time and different welding currents. After FSSW and RSW, it was determined that to obtain optimum tensile shear load from what welding method with tensile shear tests and determining the tensile strength and fracture types. Welding zones were determined with macrostructural investigations and factors effecting the formation of grain structure were observed with microstructural investigations. The sheets combined with both methods were compared by examining the results of metallurgical and mechanical tests.

Keywords: Friction stir spot welding, Resistant spot welding, Aluminium sheet, Welding parameter.

Bu makaleye atıf yapmak için

Bodur, D., Oğuzcan, C., Ertürk, S., Bozkurt, Y., "Direnç ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilen Alüminyum Levhaların Karşılaştırılması" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 266-273.

How to cite this article

Bodur, D., Oğuzcan, C., Ertürk, S., Bozkurt, Y., "Comparison of Aluminium Alloy Sheets Joined by Resistance Spot and Friction Stir Spot Welding" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 266-273.

1. Giriş

Basınç kaynak yöntemlerinden EDNK (Direnç kaynağı) yöntemleri grubu otomotiv endüstrisinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Zira bu yöntemler de kaynak işlemi katı fazda gerçekleşir ve kaynak bölgesinde dar bir ısıdan etkilenmiş bölge oluşur, birleşme kısa sürede tamamlanır ve özellikle otomobil gövde üretiminde kullanılan direnç nokta kaynağı seri üretime uygun olduğundan dolayı robotlar ile gerçekleştirilir [1]. EDNK, iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda basıncın uygulanmasıyla yapılan bir kaynak yöntemidir. Malzemeden geçen elektrik akımının doğurduğu ısının dışında, herhangi bir ısı uygulanmamaktadır. Isı, kaynak edilecek kısımlarda oluşur ve basınç kaynak makinesindeki elektrotlar ya da çeneler aracılığıyla uygulanır [2]. Ancak yumuşak bir malzeme olan alüminyum alaşımının kaporta imalatında kullanılan EDNK ile kaynak edilmesinde yaşanan güçlükler otomotiv kaportasında alüminyum alaşımlarının yaygın olarak kullanılmasını geciktirmiştir [3].

Ancak son yıllarda elektrik direnç nokta kaynağına alternatif olarak geliştirilmiş olan ve alışılmış sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) yönteminden yola çıkılarak geliştirilen SKNK yöntemi, kaynak teknolojisi konusundaki son gelişmelerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır [4]. Bu yöntem, bindirme pozisyonunda bulunan malzemelerin hem alt hem de üst bölgelerine uygulanır. Dönen karıştırıcı uçlu takım, malzemeye üst yüzeyden sürtünme ısıyı oluşturmak için bir süre uygulanır. Dönen karıştırıcı uçlu takıma bitişik olan ısınmış ve yumuşamış malzemede plastik akışa neden olur. Bununla birlikte takım omuzu malzemeye baskı verir. Belirli bir süre sonra takım malzemeden uzaklaştırıldıktan sonra nokta biçiminde kaynak oluşur [4]. Yöntemi geliştiren ve ilk kullanan Japon otomobil kuruluşu, yöntemin alüminyumda uygulaması olarak, bu yöntem için özel olarak geliştirilen kaynak robotunu kullanarak üretmekte olduğu spor model otomobillerin arka kapılarını ve motor kaputlarını üretmekte ve yöntemin uygulanması ile elektrik tüketiminden %99 tasarruf ettiğini açıklamaktadır. Ekipman fiyatlarının alüminyumun EDNK' da kullanılanlara göre %40 daha az yatırım masrafı gerektirdiği de belirtilmektedir [5]. Tüm bu çalışmalara incelediğimizde EDNK yöntemi yaygın olarak kullanılmasına rağmen bu yöntemden yeterli verim alınamamıştır. Bunun aksine SKNK yöntemi fazla tanınmamakta ve sanayi ortamında kullanılmamaktadır.

Bu çalışmada, endüstride kullanılan EDNK ve SKNK yöntemleri için AA2024-T3 ve AA5754-H22 levha malzemeleri seçilmiştir. Seçilen bu levhalar ayrı ayrı EDNK ve SKNK ile kaynak edilmiştir. Birleştirilen levhalardaki kaynaklı bağlantılarının çekme deneyine tabi tutulması, kaynak bölgelerinin özelliklerini belirlemek amacıyla metalurjik bakımdan makro ve mikro yapı olarak incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bunlara ek olarak tüm bu test sonuçlarının iki yöntem üzerinden karşılaştırılmaları yapılmıştır.

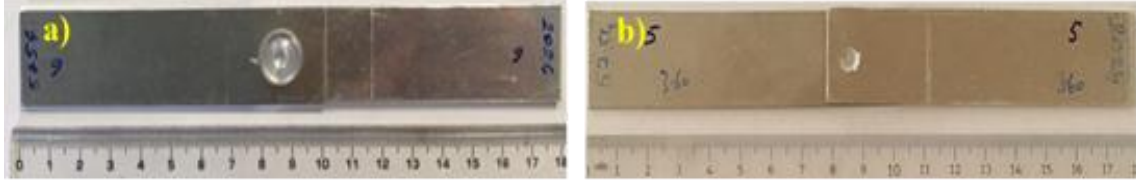
2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Kullanılan malzemeler

Bu çalışmada, SKNK ve EDNK için 1.6 mm kalınlığında AA2024-T3 ile 1.5 mm kalınlığında AA5754-H22 levhalar kullanılmıştır. Bu alaşım levhaların kimyasal kompozisyonu Tablo 1' de gösterilmiştir. Al levha ölçüleri 25x100 mm uzunluğundadır. Tüm deney numunelerinde kaynak bölgesi 25x25 mm olarak sabit ölçüdedir. Kaynak edilmiş örnek AA5754/2024 levhalar Şekil 1a ve 1b' de gösterilmiştir.

Tablo 1. AA2024-T3 ve AA 5754-H22 levhaların kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşim (%)	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr
AA 2024-T3	93.11	0.07	0.14	4.5	0.65	1.5	0.01	0.02	-
AA 5754-H22	95.29	0.25	0.31	0.02	0.38	3.2	0.18	0.12	0.23



Şekil 1. a) SKNK ve b) EDNK yapılmış AA5754/2024 levhalar.

2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Birleştirilmesi

100x25x1.5 ve 1.6 mm ölçülerindeki numuneler kaynak işlemi için hazırlanmıştır. Omuz çapı 12 mm ve uç çapı 4 mm olarak HSS çeliğinden imal edilen karıştırıcı uçlu takım kullanılmıştır. SKNK işlemi ile numuneler 1500 dev/dak. olarak sabit takım dönme hızı ile 0° takım eğim açısı ile 10 saniye sabit takım tutma süresi, 2.60-2.70 ve 2.80 mm olarak farklı takım dalma derinlikleri ile AA5754/2024 (AA5754 numunesi üst kısımda) pozisyonunda birleştirilmiştir.

EDNK işlemi ile numuneler 17.10, 20.90 ve 24.70 kA akım değerlerinde, 0.08 saniye sabit kaynak süresi ve 1710 N sabit elektrot kuvveti ile AA5754/2024 pozisyonunda birleştirilmiştir.

2.3. Çekme Makaslama Testi

Kaynak edilen levha çiftleri ZWICK marka 250 kN kapasiteli test cihazında 30 mm/dak. çekme hızında çekme deneyine tabi tutulmuştur. EDNK ve SKNK ile birleştirilmiş numunelerden her bir parametre için 3 adet numune test edilmiştir ve ortalamaları alınmıştır.

2.4. Metalografik İnceleme

EDNK ve SKNK ile birleştirilen, çekme testi sonuçları maksimum ve minimum çıkan dört numune işleme alınmıştır. Kaynak bölgeleri bakalite alınan numuneler 200-2500 numaralı zımparalar ile zımparalandıktan sonra 0.25 µm elmas pasta ile parlatılmıştır. Daha sonra keller reaktifi ile yüzeyler dağlanarak makroyapı ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Çekme Deneyi Sonuçları

EDNK ile birleştirilen numunelerin çekme makaslama test sonuçları Tablo 2' de gösterilmiştir. Şekil 2' de ise sonuçlar grafiksel olarak verilmiştir. Buradan görüldüğü üzere 20.90 kA akım şiddetinde çekme makaslama mukavemeti maksimum değere ulaşmış, 24.70 kA akım şiddetinde minimum değerde kalmıştır. SKNK ile birleştirilen numunelerin çekme makaslama test sonuçları Tablo 3' de gösterilmiştir. Şekil 3' de ise sonuçlar grafiksel olarak verilmiştir. Kaynak akımının

arttırılmasıyla ısı girdisi artmakta ve kaynak çekirdeğinin boyutu büyümektedir. Kaynak metali boyutunun artması çekme-makaslama kuvvetini arttırmakta ve akımın artmaya devam etmesiyle aşırı erime ve sıçramalardan dolayı kaynak metalinin boyutu azalmakta, dolayısıyla çekme-makaslama kuvveti de azalmaktadır [6]. SKNK işleminde de takım dalma derinliğinin 2.70 mm' ye kadar arttırılmasıyla çekme makaslama kuvveti artmakta bu derinlikten sonra ise azalmaktadır. Bunun sebebi, takımın SKNK yapılan Al-alaşımı levhalara fazla dalması nedeniyle Al-alaşımı levhanın üst yüzeyinde kaynak çevresinde incelmeye neden olmasıdır [7].

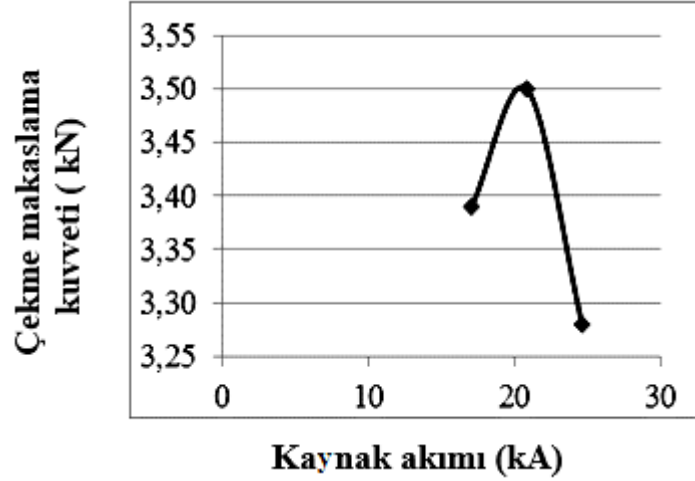
SKNK esnasında takımın dalma derinliği ile bekleme süresi, karıştırıcı uç çevresindeki metal akışını, ısı oluşumunu ve kaynak mukavemeti ile geometrisini belirlemektedir [8]. Y. Bozkurt ve arkadaşları, en yüksek çekme makaslama mukavemetini 4 kN olarak yine AA5754 Al-alaşımı levha üst kısmında iken, takım dalma derinliği 2.55 mm ve takım bekleme süresi 10 sn olarak ayarlandığında yapılan SKNK'da elde etmişlerdir. Bu çalışmada, 2.70 mm takım dalma derinliğinde 4.31 kN olarak max. çekme-makaslama kuvveti elde edilmiştir. SKNK ve EDNK ile birleştirilen AA5754/2024 levhaların çekme makaslama deneyi sonrası kırılma görünümleri Şekil 4a ve 4b' de gösterilmiştir. Literatürde çekme-makaslama deneyleri sonrasında iki çeşit kırılma tipinin meydana geldiği gözlenmiştir [9]. Bunlardan birincisi, genellikle düşük çekme makaslama kuvveti elde edilen birleşme kesilmesi [10], ikincisi ise; Şekil 4' de gösterilen ve en yüksek çekme makaslama kuvveti değerlerinin elde edildiği birleşme çıkması (kırılması) şeklinde gerçekleşen kırılma tipleridir.

Tablo 2. EDNK ile birleştirilen numunelerin çekme makaslama kuvveti.

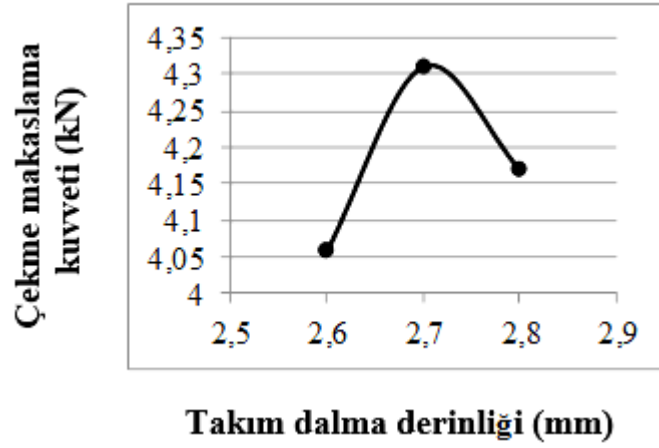
Deney No	Levha Pozisyonu	Kaynak Akımı (kA)	Elektrot Kuvveti (N)	Kaynak Süresi (s)	Çekme makaslama kuvveti (kN)			Ort.
1		17.10			3.35	3.42	3.39	3.39
2	AA5754/2024	20.90	1710	0.08	3.53	3.48	3.51	3.50
3		24.70			3.25	3.30	3.31	3.28

Tablo 3. SKNK ile birleştirilen numunelerin çekme makaslama kuvveti.

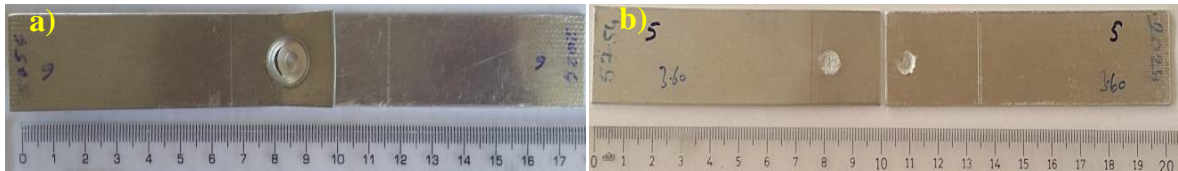
Test no	Kaynak pozisyonu	Takım dönme hızı (dev/dak)	Takım dalma derinliği (mm)	Takım bekleme süresi (s)	Çekme makaslama kuvveti (kN)	Ort.çekme makaslama kuvveti (kN)
1			2.60	10	4.40	
2			2.60	10	3.95	4.06
3			2.60	10	3.85	
4			2.70	10	4.21	
5	AA5754/2024	1500	2.70	10	4.19	4.31
6			2.70	10	4.54	
7			2.80	10	4.16	
8			2.80	10	3.51	4.17
9			2.80	10	4.84	



Şekil 2. EDNK ile birleştirilen numunelerin ortalama çekme makaslama kuvvetinin grafikte gösterimi



Şekil 3. SKNK ile birleştirilen numunelerin ortalama çekme makaslama kuvvetinin grafikte gösterimi



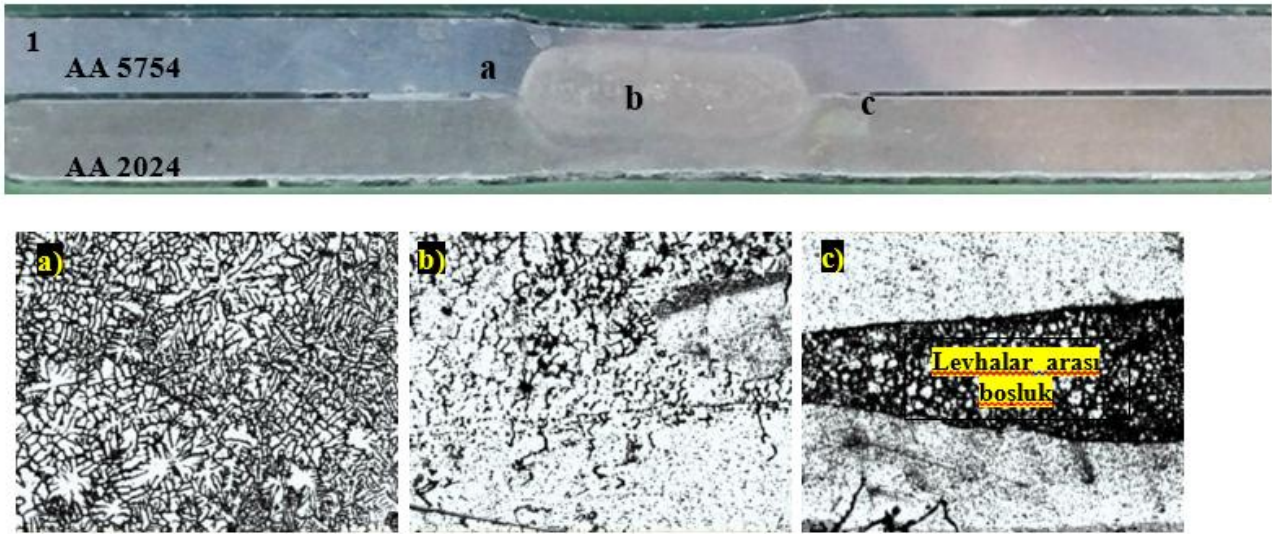
Şekil 4. Çekme makaslama deneyi sonrası; a) SKNK ile b) EDNK ile birleştirilen AA5754/2024 levhaların kırılma görünümü

3.2. Metalografik İnceleme

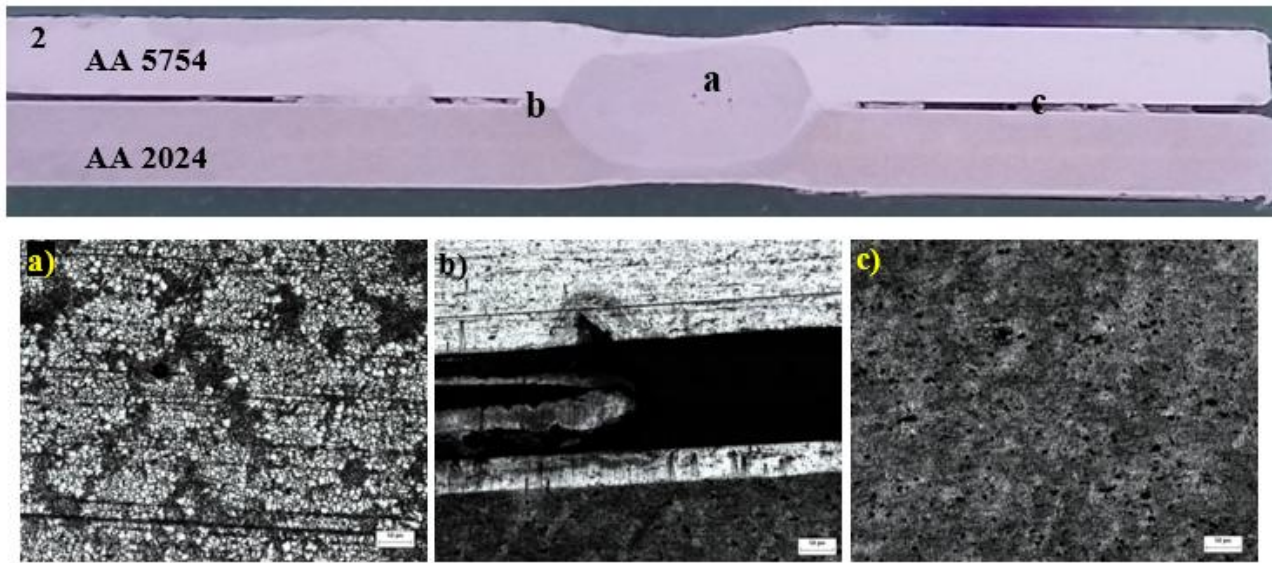
EDNK ile birleştirilen AA5754/2024 alüminyum levhaların makroyapı ve mikroyapı görünüşleri Şekil 5 ve Şekil 6’ da gösterilmiştir. Yalnızca kaynak akımının yüksek olması sağlam birleşme için yeterli değildir. Bunun yanında yeterli kaynak süresinin de olması

gerekmektedir. EDNK' daki çekirdek çapları ile SKNK' daki birleşme hattı ölçümleri, optik mikroskop yardımı ile yapılmıştır. EDNK' daki çekirdek çapının ölçülüp ortalamasının alınmasıyla bulunmuştur [11]. EDNK' da max. çekme makaslama değeri elde edilen birleştirmenin kaynak çekirdeğinin çapı 3,54 mm ve min. çekme makaslama değeri elde edilen birleştirmede ise 2.85 mm olarak belirlenmiştir.

Şekil 5 ve 6' daki mikroyapı resimleri incelendiğinde çekirdek bölgesi, iri tanelerden oluşmuştur (Şekil 5b ve 6a) ve ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) tarafından çevrelenmiştir (Şekil 5 a ve c ile Şekil 6b ve c). Yüksek akımda malzemeye giren ısı miktarının fazla olmasından dolayı kaynak bölgesinin soğuması yavaş olmakta ve bu da tane büyümesine etken olmaktadır. Literatürde bunun sebebinin maruz kalınan yüksek sıcaklıkla birlikte mevcut dislokasyonların azalması ve mukavemetlendirici çökeltilerin irileşmesi olarak belirtilmektedir [12].

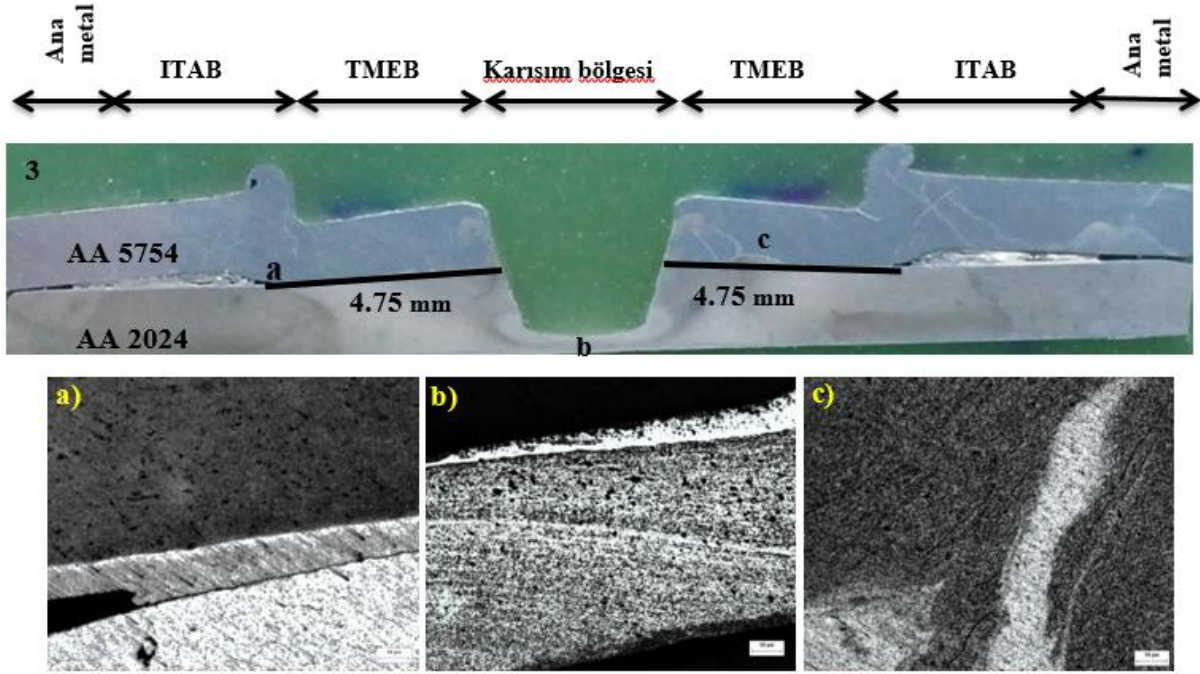


Şekil 5. EDNK ile birleştirilen ve çekme makaslama kuvveti maksimum değere sahip AA5754/2024 levhaların makroyapı (üstte: 1 numara) ve x10 büyütmede mikroyapı (altta: a), b), c) görüntüleri



Şekil 6. EDNK ile birleştirilen ve çekme makaslama kuvveti minimum değere sahip AA5754/2024 levhaların makroyapı (üstte: 2 numara) ve x20 büyütmede mikroyapı (altta: a), b) ve c)) görüntüleri.

Şekil 7' de gösterilen SKNK ile birleştirilmiş ve max. çekme makaslama kuvveti elde edilen makro ve mikroyapı görüntüleri gösterilmiştir. Karışım bölgesi ve TMEB olarak gösterilen bölge uzunluğu takım dönme yönünde ve takım dönme yönünün tersinde 4.75 mm olarak aynı kaynak dikiş kalınlığı bulunmuştur. Bu sonuç bize takımın homojen bir şekilde iki farklı levhayı birleştirebildiğini göstermektedir. Şekil 7a' da gösterilen mikroyapı incelendiğinde diğer TMEB ve karışım bölgesinden çok farklı olarak gözenek yapısının değiştiği görülmüştür.



Şekil 7. SKNK ile birleştirilen ve çekme makaslama kuvveti maksimum değere sahip AA5754/2024 levhaların makroyapı (üstte: 3 numara) ve x10 büyütmede mikroyapı (altta: a), b) ve c)) görüntüleri.

Sürtünme karıştırma nokta kaynağında oluşan kaynak metali kullanılan takım piminin yapısına benzemektedir. Takımın omuzu dalma sırasında üst yüzeydeki malzemeyi kenarlara doğru fırlatarak çapak oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum şimdiye kadar yapılan tüm çalışmalarda da bu şekilde olduğundan ve üst malzeme yüzeyinde bir miktar çökmeye müsade edildiğinden literatürdeki çalışmalarla uyumludur [4].

4. Sonuçlar

Bu çalışmada AA5754/2024 pozisyonundaki Al alaşımı levhaların SKNK ve EDNK yöntemleri ile birleştirilmeleri gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler ile birleştirilen levhalara çekme testleri uygulanıp, max ve min çekme makaslama kuvveti değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdadır.

1. EDNK işlemi ile AA5754/2024 levhalar, 20.90 kA akım değerlerinde, 0.08 saniye sabit kaynak süresi ve 1710 N sabit elektrot kuvveti ile 3.50 kN olarak maksimum çekme makaslama kuvveti değerleri belirlenmiştir. SKNK işlemi ile 1500 dev/dak., takım dönme hızında, 10 saniye sabit takım tutma süresi, ve 2.70 mm takım dalma derinliğinde maximum çekme makaslama kuvveti maksimum 4.31 kN olarak saptanmıştır. Bu sonuçlara göre SKNK yöntemi EDNK' ya göre daha iyi sonuçlar vermiştir.
2. Kaynak akımının arttırılmasıyla ısı girdisi artmakta ve kaynak çekirdeğinin boyutu 2.85 mm' den 3.54 mm' ye artmıştır. Ayrıca, her iki yöntemde gerçekleştirilen çekme deneyi sonrasında birbirleşme çıkması (kırılması) şeklinde gerçekleşen kırılma tipleri belirlenmiştir.

3. Karışım bölgesi ve TMEB olarak gösterilen bölge uzunluğu takım dönme yönünde ve takım dönme yönünün tersinde 4.75 mm olarak aynı kaynak dikiş kalınlığı bulunmuştur. Bu sonuç bize takımın homojen bir şekilde iki farklı levhayı birleştirebildiğini göstermektedir. Endüstride kullanımının yaygınlaşması için çalıştığımız SKNK yönteminin EDNK yöntemine göre daha homojen bir yapı oluşturduğu gözlemlenmiştir.

4. SKNK ve EDNK ile birleştirilen levhaların mikroyapısı incelendiğinde, SKNK ile birleştirilen numunelerin tane boyutu EDNK levhalarının tane boyutundan daha küçük olduğu gözlemlenmiştir.

Teşekkür

Finansal desteklerinden dolayı Marmara Üniversitesi Sağlık, Kültür ve Spor Daire Başkanlığı'na teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- [1] M. H. Coşkun, Otomotiv endüstrisinde kullanılan AN 7114 ve Dp600 Çelik Sacların Direnç Nokta Kaynağı (RSW) ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (FSSW) Yöntemleri ile Birleştirilmesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).
- [2] A.Bilal, AA 2024-T3 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağında İşlem Parametrelerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkileri, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).
- [3] G. Çam, Sürtünme Karıştırma Kaynağı Uygulamalarında Son Gelişmeler, Kaynak Teknolojisi VI. Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, S. 449, 42 (2007).
- [4] H. Badarinara, F. Hunt, K. Okamoto, Friction Stir Welding and Processing, R.S. Mishra, M.W. Mahoney, Friction Stir Spot Welding, American Society for Metals, (2007), pp.235-250.
- [5] R. Hancock, Friction Welding of Aluminum Cuts Energy Costs by 99 %, Welding Journal, 2, 83 (2004), pp.40.
- [6] S. Aslanlar, The Effect of Nucleus Size on Mechanical Properties in Electrical Resistance Spot Welding of Sheets Used in Automotive Industry, Materials and Design, 27 (2006), pp.125-131.
- [7] Y. Tozaki, Y. Uematsu, K. Tokaji, Effect of Processing Parameters on Static Strength of Dissimilar Friction Stir Spot Welds Between Different Aluminium Alloys Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct., 30 (2007), pp.143-148.
- [8] Z. Zhang, X. Yang, J. Zhang, G. Zhou, X. Xu, B. Zou, Effect of Welding Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Spot Welded 5052 Aluminum Alloy, Materials and Design 32 (2011), pp.4461-4470.
- [9] A.M. Pereira, J.M. Ferreira, A. Loureiro, J.D.M. Costa, P.J. Bártolo: Effect of process parameters on the strength of resistance spot welds in 6082-T6 aluminium alloy, Materials and Design, 31 (2010), pp.2454-2463.
- [10] Y. Bozkurt, S. Salman, G. Çam: 2024-5754 Alüminyum Alaşımı Levhaların Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilmesinin İncelenmesi, International Conference on Welding Technologies and Exhibition, 23-25 May, Ankara-Turkey, (2012).
- [11] S. A. Şafak: Uçak Endüstrisinde Kullanılan Alüminyum Alaşımının Elektrik Direnç Nokta Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2011).
- [12] B. Kahraman: Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan 5754 Alüminyum Alaşımı Sacların Direnç Nokta Kaynağı (RSW) ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (FSSW) Yöntemleri ile Birleştirilmesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, (2009), pp.98.